

AMSB-30 型高压电容电桥
使用说明书
及
KMSB-30-3 量程扩大器
使用说明书



上海熙凌电器有限公司
Shanghai SCHERING Electric Co.,Ltd

目 录

第一章	概述	
	1-1 简介	3
	1-2 性能	3
	1-3 结构	3
	1-4 技术参数	3
	1-5 附件（可供选）	5
第二章	安装操作	
	2-1 验收检查	5
	2-2 安装	5
	2-3 初步试验	5
第三章	操作	
	3-1 面板上的控制盘、仪表以及相关指示	6
	3-2 后面板	9
	3-3 KMSB-30-3 面板示意图	9
	3-4 电容测量	10
	(a) 准备工作	10
	(b) 电容及损耗角正切值 $\text{tg}\delta$ 的三端测量	10
	(c) 电容及损耗角正切值 $\text{tg}\delta$ 的四端测量	11
	(d) 电容比例测量 C_x/C_s ，使用量程扩扩展器及引线补偿	11
	3-5 电压变压器（或互感器）的校验	13
	(a) 原理	13
	(b) 测量方法	13
	(c) 电压互感器测量范围和精度	14
	3-6 电感测量	15
	(a) 概述	15
	(b) 计算方法	15
	(1) 电感值	15
	(2) “Q” 值	15
	(3) 电抗器的测量范围和精度	16
第四章	显示介绍	
	4-1 开始页面	17
	4-2 设置页面	18
	4-3 显示测量	19
	(a) 电容量及介损测量界面	20
	(b) 电抗器测量界面（仅 AMSB-30a）	21
	(c) 高压变比角差测量界面（仅 KMS-30a）	22
	(d) 工频高电压测量界面（仅 AMSB-30a）	23



第五章	工作原理	
	5-1 电流比较仪	23
	5-2 电容电桥	23
	5-3 基本操作	24
	(a) 电容测量	24
	(b) 介质损耗正切值 $\tan \delta$ 的测量	25
	5-4 KMSB-30-3 量程扩大器	25
	5-5 引线阻抗的补偿	26
	5-6 自校	27
第六章	设备成套性	27
第七章	保管及免费修理期限	27

附录：常规产品的测量接线图

第一章 概述

1-1 简介

本说明书是 AMSB30 型高压电容电桥的安装和使用说明。

AMSB30 型高压电容电桥是基本仪器。主电桥主要采用电流比较仪的原理并结合计算机数据处理，对被测试品进行全自动测量。

本电桥可与各类高压标准电容器配合组成高压电容电桥，适宜于在高电压下测量电力电缆、高压套管、电力电容器、互感器等高压电力设备的电容量及损失角正切值 $\tan \delta$ ，以及各种固体或液体绝缘材料的介电常数 (ϵ) 及损失角正切值，也可对高压变压器或电压互感器的比差及角差、大型电感器的电感量和无功功率，视在功率等进行测量。

AMSB30 型高压电容电桥是一台新型的高压多功能平衡式电容电桥。

1-2 性能

AMSB—30 型高压电容电桥是通过内部高准确度的电流比较仪来保证整个仪器的高稳定性和准确度。本电桥和外接的高压标准电容组成了整个测量系统，其准确度优于 2×10^{-5} 。

本电桥的比例从 1: 1 到 1000: 1，介质损耗从 +100% 到 -100%。所有的准确度都能优于 $\pm (0.2\% \tan \delta + 0.00002)$ 。

AMSB-30 型高压电桥还可以准确的测量 7H 以下电抗器的电感量及 $Q (Q > 10)$ 值。

KMSB30-3 型量程扩展器（供选购）能使主桥体的电容比从 1000: 1 扩大到 $10^6: 1$ 。

1-3 结构

本电桥放在一个金属箱体内。测量数据显示在面板上的一块液晶显示器上。整个电桥通过面板上的按键，来进行人机对话，按键开关在液晶显示器的旁边。在面板靠下部分，装有显示电桥倍率的 LED 指示，及在使用 4T 测试方式时，所选用标准电容的规格和 USB 通讯口状态的指示灯。电桥本体的环形电流比较仪装在一个磁屏蔽盒内，它的铁芯采用超高导磁材料卷绕成环形，为内外磁场有较好的抗干扰性能，具有很高精度的比差及角差。主运算放大器和引线补偿放大器及微机处理器都在箱体内部一个金属屏蔽盒内，电桥工作电源采用了大功率线性电源，具有较强的抗干扰能力，也安装在一个金属屏蔽盒内。连接标准电容器与被测试品的插座及接地端钮在仪器背部，外接线采用屏蔽电缆，电桥装置箱体作为静电屏蔽以免干扰。

1-4 技术参数

AMSB-30 型高压电容电桥

- 环境温度： 0~+40℃ （使用）
-10~+40℃ （运输及保存）
- 相对湿度： 30~85% （使用）
30~85% （运输及保存）

- 电容比例测量范围：
(1 : 1 时) 0 - 1.111,110 步进 0.000,001
- 介质损耗测量范围：
-0.111 110 ~ +0.111 110 步进 0.000,001
- 电容测试比例盘：
比例范围 1000,500,200,100,50,20,10,5,2,及 1 : 1
- 线圈电流：

电桥最大工作电流：电桥标准臂最大允许电流为 10mA。通过被测臂最大电流与倍率位置有关，见表 1。

表 1

倍 率 K	最大允许电流
1	1 5 m A
2	3 0 m A
5	7 5 m A
1 0	1 5 0 m A
2 0	3 0 0 m A
5 0	7 5 0 m A
1 0 0	1 . 5 A
2 0 0	2 A
5 0 0	2 A
1 0 0 0	2 A

注意：被测最大不得超过 2A，如测试需要则需外接电流互感器。

	电容比例	介质损耗
电桥步进	0.000,001	
(所有额定比例)：	1PPM	(0.0001%)
线性：	优于 1 PPM	0.000,001 (0.0001%)

电容比率值的测量准确度：(当电容比率读数第一只盘为满度)：

当 $\text{tg } \delta < 3 \times 10^{-3}$ 为 ± 0.00002
 $\text{tg } \delta \geq 3 \times 10^{-3}$ 为 $\pm 0.00002 \pm 0.02 \times \text{tg } \delta \times$ 。

$\text{tg } \delta \times$ 测量准确度不大于 $\pm 0.2\% \text{tg } \delta \times \pm 2 \times 10^{-5}$

电感测量规定：可根据标准电容器的电容值 C_s 及下表来选择电桥比例、量程扩大器的比例。

C_s (PF)	电桥倍率	外接量程扩展器比例	被测电感最大值
1000	100	10	7H
1000	1000	1000	7mH
100	100	10	70H
100	1000	1000	70mH

被测电感的 Q 值必须大于 10!

重量：约请 63.6kg

外形尺寸：50.3×55.9×57.2cm

电源：220v, 50Hz, 150w

KMSB-30-3 型量程扩大器：

次级及辅助为 1000 圈，初级为 100 圈，通过窗口可以自行绕制初级圈数。

比例和最大电流：

量程扩大器的额定值(当电桥比例为 1000: 1)：

10, 000: 1	10A	量程扩大器内部
20, 000: 1	20A	量程扩大器内部
50, 000: 1	50A	量程扩大器内部
100, 000: 1	100A	量程扩大器内部
200, 000: 1	200A	量程扩大器内部
500, 000: 1	500A	外部绕 2 圈
1000, 000: 1	1000A	外部绕 1 圈

(用外部绕的圈数，可得到中间的比例)

准确度(当电桥比例在 1000: 1 时)：±0.000 002

1-5 附件(可供选购)

USB2.0的测量通讯软件包，主要功能是将测试仪器于PC机电脑建立通讯，并将测试数据在电脑中建立文件保存。

第二章 安装操作

2-1 验收检查：

在出厂前，仪器进行了彻底的机械和电气检查，其中包括了一段时间的老化，最后经过严格的检验，合格后才出厂的。所以在收到仪器时，仪器不应该有损伤和故障。然而，由于运输过程中可能会发生问题，所以用户在收到仪器后应首先检查是否有结构上的损伤，并尽快的进行电气试验。如发现问题，用户应马上与本公司联系，切勿自行开机处理。

2-2 安装

将电桥安放在牢固的操作台上，首先将电桥的接地端与大地可靠的连接好，然后把仪器的电源线插到适合的电源上。

2-3 初步试验：

- 将电源电压打开，在 LCD 上显示测试界面。
- 如果显示对比度不好，可以调节对比度来改善显示。
- 在开起电源后，仪器会自动对内部硬件进行检测，如不能通过，请与我公司联系。
- 对需要调整的参数进行设置，设置完成后关闭电源。再次打开电源后，所有的设置参数应都能保存，如有丢失，请与我公司联系，可能仪器的记忆体有问题。

第三章 操作

3-1 面板上的控制键、显示器以及相关指示:



- ‘ 1 ’ - AMSB-30 多功能高压电容电桥
- ‘ 2 ’ - 平衡状态指示器。类似原指另仪中的指针，用于指示每个灵敏度上平衡的状态。等亮的越多，表示离平衡点越远；反之，则离平衡点越近。
- ‘ 3 ’ - LCD 显示器（240×128 液晶显示器），用于人机对话的窗口，显示测试数据。
- ‘ 4 ’ - 测试倍率（K）状态指示器，用于显示电桥在平衡时，电桥内部的倍率开关的位置。
- ‘ 5 ’ - USB 通讯口及状态显示器。（可选购，普通的没有）
- ‘ 6 ’ - 采用 4T 接线测试方式时，所设置标准电容的容量指示器
- ‘ 7 ’ - 测试及参数设置提示灯。
- ‘ 8 ’ - 功能按键，用于参数修正及测试功能选择。
- ‘ 9 ’ - 测试功能快捷键。

3-1-1 平衡状态指示器:



- 本指示器用于指示电桥的工作状态和平衡状态。
- 当电桥处于自动平衡过程中，指示器将会根据不同的平衡电流给予指示，以便操作员观察电桥的平衡过程及对最终测试结果准确度的判断。

指示 LED(L0~L6) 全点亮时，表示电桥在某一灵敏度位置时处于极不平衡状态。既不平衡电流很大。

当 LED 只有部分点亮时，表示电桥在某一灵敏度位置时处于接近平衡状态。

当 LED 只有 L0 和 L1 点亮或全部熄灭时，表示电桥在某一灵敏度位置时处于平衡状态。显示窗中的灵敏度如果显示到 ‘6’ 或 ‘7’，则可以读取数据。

- 当电桥非平衡工作状态时，如工作在 ‘高电压测试’ 工作模式，

或电桥在等待平衡过程中，本指示器将会闪烁，以表示电桥处于等待平衡状态。

- 本指示器在开机后，将全部点亮，然后逐个熄灭。表示这部分工作正常。

3-1-2 LCD 显示器:

本显示器用于人机对话，显示电桥的工作状态及内部相关参数的设置，具体相见“第四章 显示介绍”。

3-1-3 倍率开关 (K) 状态指示器:



- 电桥在平衡中，指示电桥所处着的内部倍率位置，以便操作员观察并判断电桥是否工作和选择正常。如出现不正常的选择，可以直接按‘复位键 RET’重新测量。
- 本仪器开机时，本指示器将按从小到大的位置逐一点亮，并同时发出提示音，最后将点亮‘X1000’的指示灯。表示电桥已处于工作等待状态。

3-1-4 USB 2.0 通讯口及状态指示器:



- 此功能为可选择，标准机器上暂无此功能。
- 本端口用来连接 PC 机，并将相关测试数据通过 USB 数据线送入 PC 机中，联机后，USB 指示灯将会闪烁。
- 使用本接口时，必须使用配套的数据接收软件。否则可能会导致通讯错误。

3-1-5 标准电容选择状态指示器:



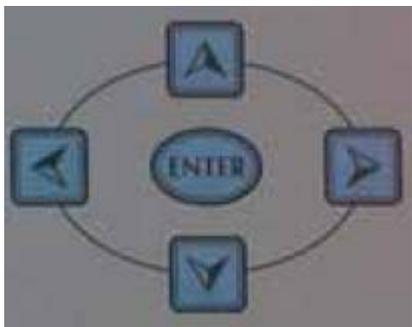
- 此指示器用来指示电桥内部设置标准电容的容量范围，
当 C_n 设置为 $90 \sim 110\text{pF}$ 时，‘100pF’指示灯点亮，其余灯熄灭；
 $900 \sim 1100\text{pF}$ 时，‘1nF’指示灯点亮，其余灯熄灭；
 $9 \sim 11\text{nF}$ 时，‘10nF’指示灯点亮，其余灯熄灭；
当 C_n 设置不在上面的范围内时，‘Ext’指示灯点亮，其余灯熄灭；
- 指示内部设置测试方法为‘3端’还是‘4端’，点亮时为选择到‘3端’。

3-1-6 特殊按键及直流工作状态指示器:



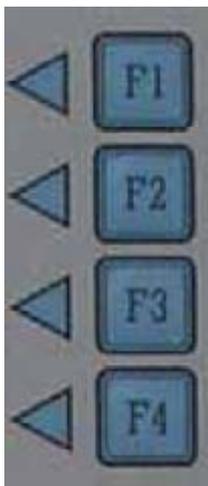
- 此部分的指示灯为仪器内部直流工作电源状态指示灯。用来指示工作是否正常。‘非常明亮’表示工作正常；有一个或二个不是非常亮，看上去象是带了很大负载，那就表示内部直流电源工作可能不太正常，解决方法，可将电源总开关，关闭一下，马上再打开，同时观察这里的显示 LED，直到指示正常。
- ‘SET’ 键，为内部软件的复位按键，当发现仪器在运行过程中，出现了死机，或进入无限循环中，可以直接按此键，让软件进行复位。
- ‘SEND’ 键，此键为本仪器制造商预留功能扩展。

3-1-7 功能键:



- 本功能键主要是用来设置仪器内部参数、及工作状态的选择。
- ‘左 右’ 键是选择不同的参数修改位，可以通过显示器上的移动光标来显示具体的位置。
- 当光标到达需要修改的位置后，可以按动‘上下’键，来进行数据的修改。具体的键功能，可以根据不同的显示页面上的提示进行操作。
- ‘ENTER’ 确认键，用来确认设置参数及测试中的退出。

3-1-8 测试模式快捷键:



- 快捷键的功能提示，会在显示器中显示，可根据提示进行选择。
- ‘F1’ 为容性试品的试验模式，主要测量电容量 (C_x) 及介损值 ($\text{tg } \delta$)
- ‘F2’ 为感性试品的试验模式，主要测量电感量 (L_x) 及无功功率 (Q_x)，视在功率 (S_x) 和总功率 (P_x)。
- ‘F3’ 为高压变比测试模式，主要测量 PT 的电压变比 (γ_x) 和角差 (δ_x)，并根据设置的名义比值计算出误差 (γ_k)。
- ‘F4’ 为高电压测试模式，主要通过标准电容测量高压的有效值，和试验电压的频率。

3-2 后面板



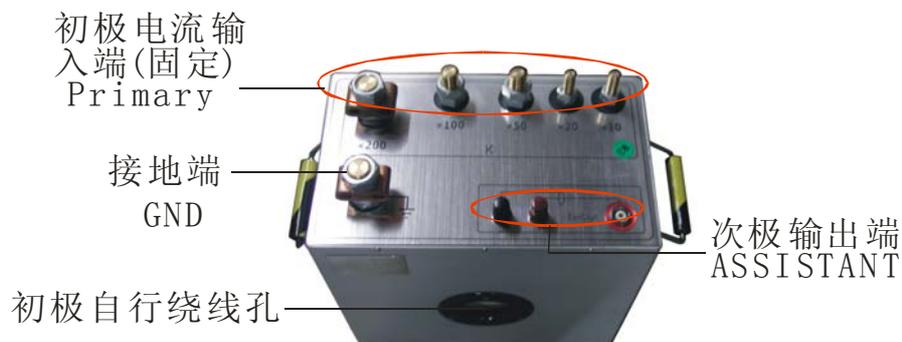
- ‘ 10 ’ - 主电源输入口，市电由此送入；总电源开关。
- ‘ 11 ’ - 保险丝：2A
- ‘ 12 ’ - 放电保护管（3 个），用于外部试品在试验过程中出现放电时，来保护电桥内部的测量线路。
- ‘ 13 ’ - CxI 插孔：被测 Cx 电流插孔，三端测量时为被测端，四端测量时为被测电流端。
Cxp 插孔：被测 Cx 电位插孔，四端测量大电容时为被测电位端。
Cs 插孔：标准电容器的低压信号输入端。
- ‘ 14 ’ - 接地端钮：使用时要确保可靠的与大地连接，保证操作安全。
- ‘ 15 ’ - LCD 对比度调节器，用以调节 LCD 的显示对比度。一般操作员不必调节。

注 意：

在加电压试验前，电桥必须可靠的与大地连接。一般在测试前可在外回路施加少许电压的条件下，进行初次平衡。因为本仪器的高灵敏度能使系统在周围始终存在的电磁场下得到利用。

流经标准电容器及被测电容器的电流必须符合技术指标的要求。以防止电流比较仪的线路损坏。

3-3 KMSB-30-3 面板示意图



3-4 电容测量

(a) 准备工作

先将此盘示值调节到所使用的标准电容器的实际电容量值。然后将接地端钮与大地可靠连接，电源线接到合适的电源上，指另仪的灵敏度开关置零。最后按下按钮接通电源，红灯亮。

(b) 电容及损耗角正切值 $\text{tg}\delta$ 的三端测量

① 在标准电容侧的最大电流不得超过 10mA，在试验时应引起注意。为了获得最大的分辨率， I_{cs} 不应小于 0.1mA。

② 用专用测量电缆线将标准电容接到电桥背面 C_s 插座，被测试品接到 C_xI 插座见图 1。

③ 打开电源开关，仪器通过自检后，将测试选项，选择到“电容测试”界面。

④ 在试验电压低于 500V ($C_s=100\text{pF}$) 时，电桥将处于等待状态。

⑤ 在施加电压过程中，电桥同样回处于等待状态，直到试验电压稳定在某一个电压后，电桥才会开始自动测量。

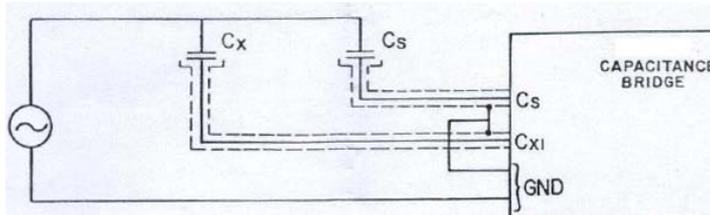


图 1

⑥ 为了使平衡过程快速，可以在先加低一点的试验电压，使电桥先利用

电桥的高灵敏度而进行初步平衡，寻找出一接进平衡的数值，以避免施加试验电压后由于极大不平衡而造成的困难。

当 I_{ns} 达到 1mA 时即当 $C_s=100\text{pF}$ 试验电压应为 30kV 时，本电桥分辨率无论是电容比值或 $\text{tg}\delta$ 均能达到 1×10^{-6} ，倍率选择可按表 3-1 所示预置。

$$\left(E = \frac{I_s}{j\omega C_s} \text{ or } E = \frac{0.001}{j\omega C_s} \right)$$

表 3-1:

C_x	C_s	K	Dials in use	Resolution
100pF	100pF	1:1	6	1ppm
1,000pF	100pF	10:1	6	1ppm
10,000pF	100PF	100:1	6	1 ppm
100,000pF	100PF	1000:1	6	1 ppm
1,000Pf	1000pF	1:1	6	1 ppm
10,000Pf	1000pF	10:1	6	1 ppm
100,000pF	1000pF	100:1	6	1ppm
1,000,000pF	1000pF	1000:1	6	1 ppm

例如 1:

如果: $C_x=400\text{pF}$ $C_s=100\text{pF}$ 调整(K)=10:1 然后读数为 '.400 000'

如果: $C_x=10\text{pF}$ $C_s=100\text{pF}$ 调整(K)=1:1 然后读数为 '.100 000'

⑦ 在平衡过程中，显示屏幕的左上角将显示平衡时灵敏度开关所在的位置，

同时‘平衡状态指示灯’将显示各档灵敏度时的平衡状态，类似指另仪的指针。电桥内部是根据下边的步骤进行调节 C_x/C_s 和介损盘的数据，最总使电桥平衡：

- 首先选择合适的‘被测电容的倍率开关 K ’的位置，并在面板上显示。
- 然后自动再调节比例和介损盘，使‘平衡状态指示灯’指示到最小。
- 当‘平衡状态指示灯’在某灵敏度档位上指示最小后，再自动增加灵敏度，并再次去平衡比例和介损盘。在平衡一次后，电桥都会发出一声鸣叫。
- 最后灵敏度位置显示在‘6’或‘7’时，‘平衡状态指示灯’指示最小的时候，这时就可以通过显示窗读取数据。如需要精密测量时，可以通过一段时间的等待，让电桥进行精密平衡状态，但是这可能需要时间。

(c) 电容及损耗角正切值 $\text{tg}\delta$ 的四端测量

测量大电容时，电容器的阻抗很小，因此接线阻抗不能忽略。标准电容器的接线阻抗低于标准电容器阻抗的 1×10^{-7} ，电流比较仪绕组的内部阻抗则为标准电容器阻抗的百万分之几。为了能在测量大容量时，保证测量精度，引线阻抗必须补偿。其接法如图 2 所示。

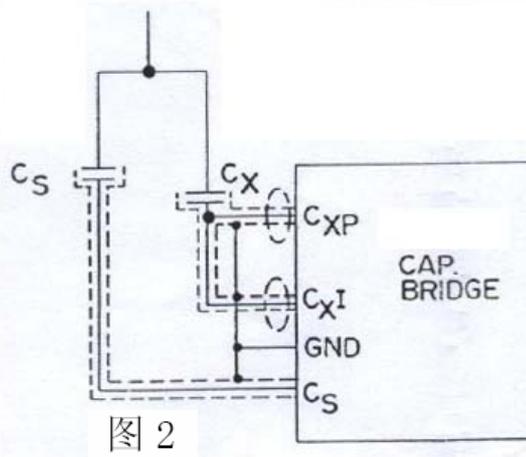


图 2

- ① 设置 C_s 的电容量为 C_s (1000pF or 100pF)
- ② 设置测量方式为：4T
- ③ 按照图 3 进行接线。
- ④ 打开电源开关。
- ⑤ 打开电源开关。
- ⑥ 按照 3-4-(b) 步骤进行调节。

本电桥还具有内置引线补偿设置，即将估算(或实际测量)的测量引线电阻在设置界面中先预置到仪器内，然后按照‘(b) 电容及损耗角正切值 $\text{tg}\delta$ 的三端测量’所提供的测量方法进行测量，在测试结束后，电桥内部数据处理部分，将根据设置的引线电阻对数据进行自动修正，以达到消除引线电阻带来的测量误差。这种方式比使用‘四端法’测量更为方便，以被大多数操作员所使用。

(d) 电容比例测量 C_x/C_s ，使用量程扩扩展器及引线补偿

当电桥测量的比例超过 1000:1 时，需要使用 KMSB-30-3 量程扩大器。如当 $C_x = 2 \mu\text{F}$ and $C_s = 1000 \text{ pF}$ 电容比例为 2000:1。此时可选用扩大器的基本比例 10:1，次级为 1000 圈、初级为 100 圈。更高比值可通过量程扩大器的中心孔串绕额外的初级线圈。量程扩大器的额定电流为 1000A，不应该超过此值。所以次级电流不能超

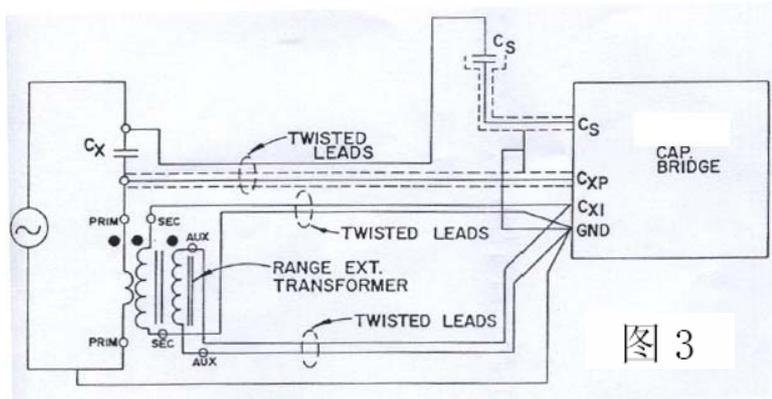


图 3

过 1A，同时电桥的量程开关（K）应放在 1000， I_s 不超过 10mA。

量程扩大器初级线圈中电流值与电容比值有关，如果采用串联线圈时，电缆必须要有足够大的截面，以便能通过被测试电容器的充电电流，当要求高精度测量时，此时电桥的倍率开关（K）放在 1000，以减小量程扩大器的负载。然后，更方便的办法是固定不变的线圈，同时改变倍率开关，但是最小不能小于‘200:1’，否则将引入很大误差。

- ① 按图画进行接线。
- ② 按照表 3-2 选择合适的比例。
- ③ 为使互感器的影响减到最小，推荐按图 3 接线，并采用绞线或同轴电缆。
- ④ 设置量程扩展器的比例和测试方式为 4T，或通过设置引线电阻的方式来消除测量引线带来的误差，此时可以将取消‘Cxp’的连接电缆即可。*一般被测电容不大于 10 μ F 以上的，测量引线电阻引入的误差不会对测量数据影响很大。所以此时建议按 3 端法进行测量。*
- ⑤ 打开电源开关
- ⑥ 施加试验电压。（在不知道的时候可以稍加一点电压）。
- ⑦ 电桥进入自动平衡过程。

表 3-2

C_x/C_s RATIO	BRIDGE RATIO SWITCH	RANGE EXTENDER WINDING	MAX PRIMARY CURRENT
2,000	200	Fixed 100 turn primary	10 A
5,000	500	Fixed 100 turn primary	10 A
10,000	1,000	Fixed 100 turn primary	10 A
20,000	200	Feed through 10 turn primary	100 A
50,000	500	Feed through 10 turn primary	100 A
100,000	1,000	Feed through 10 turn primary	100 A
200,000	1,000	Feed through 5turn primary	200 A
500,000	1,000	Feed through 2 turn primary	500 A
1,000,000	1,000	Feed through 1 turn primary	1,000 A

注意

当标准电容器 C_s 的值为 100pF 和 1000pF 这两个值时，可以进行四端接线补偿测量。当标准电容 C_s 为其他值时，只能进行三端测量。

3-5 电压变压器（或互感器）的校验原理

电容电桥在正常情况下测量流过 C_x 电容的电流的幅值和相位（与流过标准电容 C_s 的电流相互比较）是未知的。

如果把二个完全已知的标准电容器来替代原来未知的电容器，并给他们加上另一个电压（见图 4），则流过第二个电容的电流与所加的电压是成正比，并且与电压的相位差了 90 度。

电桥计算比例：

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_x}{N_s} (1+jd) \quad (1)$$

其中： $\frac{N_x}{N_s}$ = 刻度

公式 1 中的电压比是基于在 C_{s1} 和 C_{s2} 位置上接有相等的电容器，实际上，常用两个不相等的电容器，变压器的电压比的计算如下：

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{C_{s2}}{C_{s1}} \frac{N_x}{N_s} (1+jd) \quad (2)$$

C_{s2}/C_{s1} 比例测量必须是单独的进行。

(b) 测量方法

1. 接上电压互感器和两只标准电容器（如图 4）。

2. 按 3-4-(b) 进行比例测量调节。

$$\frac{C_{s2}}{C_{s1}} = \frac{N_x}{N_s}$$

这些电容器的介质损耗角不应超过 0.000 02，并可忽略不计。

3. 按图 5 重新接线，并调节平衡，电压比可用下面的计算公式计算。

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{C_{s2}}{C_{s1}} \left[\frac{N_x}{N_x} \right]_2 (1+jd) \quad (4)$$

$$\frac{E_2}{E_1} = \left[\frac{N_x}{N_x} \right]_1 \left[\frac{N_x}{N_x} \right]_2 (1+jd)$$

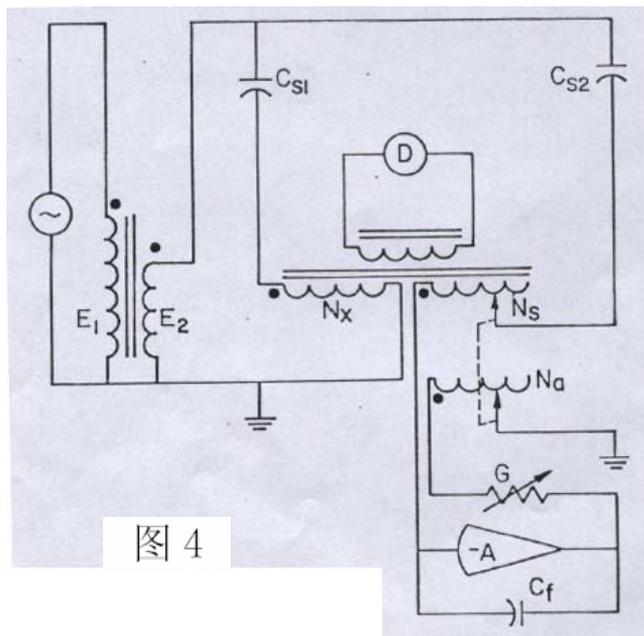


图 4

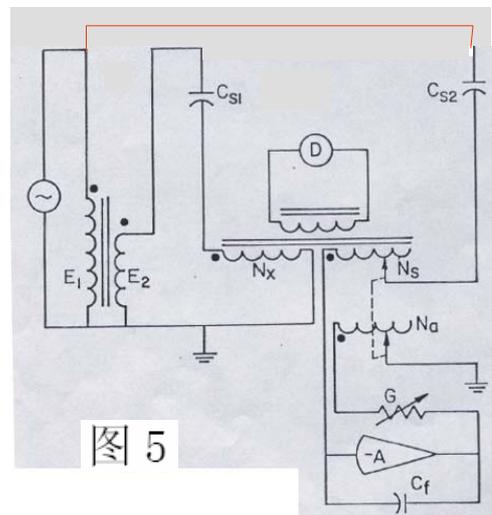


图 5

(3)

注意两台标准电容器在测量中的位置。一般较大的电容器须接在电桥的Cn端，并要求得到6个盘的数据。

(c) 电压互感器测量范围和精度

电压互感器的典型测量范围如下表（表 3-3），可参照下表进行调整测量。

表 3-3

变压器变比	Cs2	Cs1	最高试验电压	电容比例 Cx/Cs	电桥倍率 K
1	1000Pf	1000pF	26KV	1	1
1,000	1000pF	1000pF	26KV	1	1,000
10	1000pF	100pF	260KV	10	1
10,000	1000pF	100pF	260KV	10	1,000
100	5000pF	50pF	520KV	100	1
100,000	5000pF	50pF	520KV	100	1,000

电压互感器相同的两次测量中的每次测量，都要按上面列出的方法进行。但同时必须要考虑电容器的电压系数问题。

(d) 注意事项

1. 需要设置的相应参数：需要设置标准电容的准确值。
2. 在测试中，必须先按接线5进行比例测试的校准，选择测试模式为“**高压变比及角差校准**”。本校准是为了得到两台标准电容的实际比值，便于以后的计算。**在测试中，试验电压必需按照低压电容的最高电压值来取试验电压！**
3. 在进行校准试验后，可以不必将试验电压调低的情况下，退出“**高压变比及角差校准**”模式，而进入“**高压变比及角差测试**”模式，此时仪器进过再次平衡后，将显示测试的比差为“1.00000”。说明整个校准顺利完成，可以进入实际变比测试。
4. 在整个测试过程中，必须将高压电容的高压侧接到被测互感器的高压侧，切不能将高压线接反！整个测试过程中，为了避免电桥由于很大的不平衡，而延长平衡测试时间，需要对电桥在施加少许电压后，先让电桥预平衡，再慢慢升起电压到额定电压，并等到显示器左上角显示的数字“>6”以后，开始读取数据。

(e) 举例

被测试的电压互感器规格为：200kV/100V

Cs1 选用：1000pF/1kV 标准电容（实际值：1000pF）

Cs2 选用：100pF/300kV 标准电容（实际值：100pF）

1. 按接线 4 连接，将标准电容预置为‘1000.00pF’，并在“**高压变比及角差校准**”模式测量，所得到的数据将是：

比值为：0.100000

角差为：00（分）”00（秒）”

注意：如有角差，说明两台电容器存在着介损的差异，如能满足测量准确度的要求，可以忽略。如不能，则需要对标准电容进行调还。

2. 按接线 5 连接，并在“**高压变比及角差测试**”模式测量，所得到的数据将是：

比值为：2000.00 （实际电压互感器一次和二次的变比）

角差为：00”12” （实际电压互感器一次和二次的角差）

3-6 电感测量

(a) 概述

带有量程扩展器的电桥能用来测量电抗器（将量程扩展器初极中的电流反向）。方向后的电流无功分量与流过的标准电容器的电流同相，电桥可以使用等值电容比的刻度（读数）来获得平衡。

然而，电流的电阻性或同相的分量也被反相，同时介质损耗角也相应成为负值。为此，本电桥具有可反相的 5 位介损。

(b) 计算方法

(1) 电感值

在平衡时，电感分量在 C_x/C_s 刻度盘上指示出来（是以它的等价电容值 C_x 表示）。

其中： $-C_x = (\text{电桥比值 } K) \times (\text{量程扩大器的比值}) \times (C_x/C_s \text{ 盘读数}) \times C_s$

令 $K = (\text{电桥比值}) \times (\text{量程扩大器的比值})$

且 $r = C_x/C_s \text{ 盘读数}$

则 $C_x = K \cdot r \cdot C_s$ (5)

C_x 的等值容抗就等于电抗器的感抗。

或 $X_{Lx} = X_{Cx}$

$$\omega_{Lx} = \frac{1}{XCx} \quad (6)$$

由 (5) 将 C_x 代入：

$$\omega_{Lx} = \frac{1}{\omega Kr Cx}$$

$$Lx = \frac{1}{\omega^2 Kr Cs} \quad (7)$$

注意：测量电容比时的电桥精度与频率精度的关系不大。但是如用于电感测量时，根据公式 7，则与频率的精度有关了。

(2) “Q” 值

在电桥平衡时，电抗器的导纳用一个某值电容器的导纳来测量和表示：

$$G + j\omega C = \frac{-1}{R + j\omega L} \quad (8)$$

（‘-’表示电流的反向）

$$\begin{aligned} &= \frac{-(R - j\omega L)}{R^2 + \omega^2 L^2} \\ G + j\omega C &= \frac{-(R - j\omega L)}{R^2 + \omega^2 L^2} + \frac{j\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} \end{aligned}$$

将实部和虚部分开表示：

$$G = \frac{-R}{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (9)$$

$$\omega C = \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} \quad (10)$$

用 (9) 除以 (10)

$$\frac{G}{\omega C} = \frac{-R}{\omega L}$$

但介质损耗角：

$$D = \frac{G}{\omega C} \quad \& \quad \text{“Q” 值} = \frac{\omega L}{R} \quad (11)$$

代入 (11) 得到：

$$Q = \frac{-1}{D} \quad (12)$$

(3) [电抗器的测量范围和精度](#)

电感量的测量范围如下表所示（表 3-4）

表 3-4

C_s	电桥比例	量程扩展器比例	最大电感量（具有 6 个盘的数据）	电感最大的电流
1000Pf	100:1	10:1	7 H	10A
1000pF	1000:1	1000:1	7 mH	1000A
100pF	10:1	10:1	70 H	10 A
100pF	1000:1	1000:1	70 mH	1000A

被试电抗器的“Q”品质因素不得小于 10，否则电桥不能平衡！！

电容电桥和量程扩大器的精度规定列在前面。

第四章 显示介绍

4-1 开始页面

在电源开关打开后，将显示开机界面，并通过自检后进入准备测试页面的显示。开始显示包括日期、时间、仪器编号和工作方式等的信息。具体见图13。

4-1-1 开机界面：

A. 开机显示；



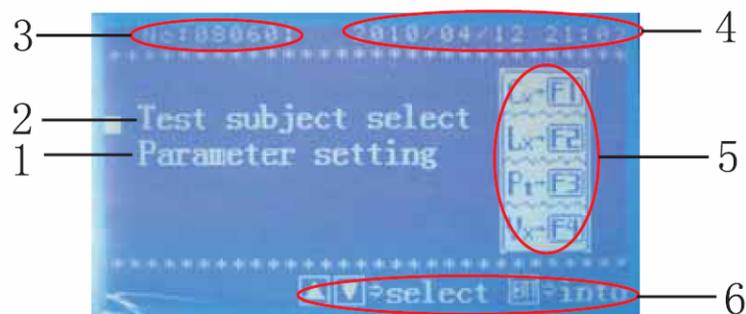
B. 进入自检状态；



C. 自检结束；



4-1-2 试验模式及参数设置选择界面：



- (1)- 进入参数设置页面
- (2)- 进入测试项目选择页面
- (3)- 显示仪器编号
- (4)- 当前日期、时间
- (5)- 快捷键功能提示
- (6)- 页面功能键操作提示信息

4-2 设置页面

参数设置页面



页面显示一些参数设置，请根据实际参数进行设置。

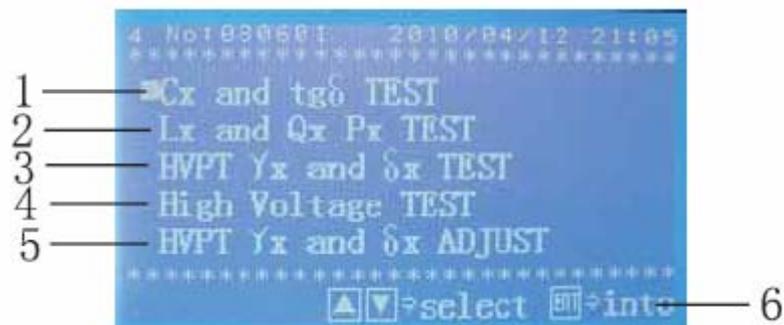
- (1)- 标准电容器数值预置：从 1pF~99999.99pF，用于预置标准电容器的电容量。
- (2)- 测量接线方式：3 端或 4 端
- (3)- 量程扩展器选用的比例预置(AMSB-30-3)
- (4)- 预置测量引线的直流电阻，可通过直接测量引线电阻后，将数据设置在这里。单位：Ω。
- (5)- 下一页
- (6)- 确认返回



- (7)- 被测试变压器或电压互感器的规格
- (8)- 电抗器测试的额定电流
- (9)- 日期设置
- (10)- 时间设置
- (11)- 本页面的名称
- (12)- 确认返回

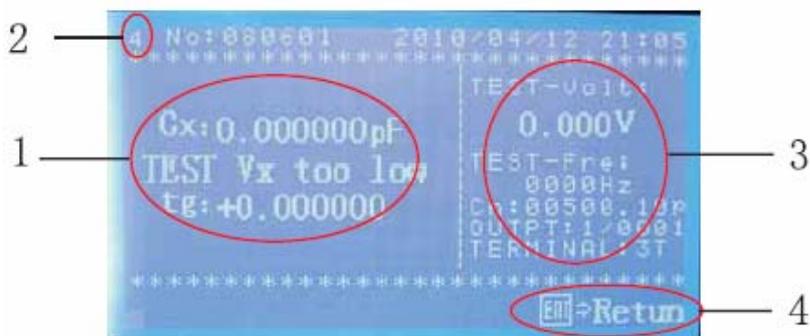
4-3 显示测量

4-3-1 测量模式选择界面:



- (1)- 电容量及介损测量
- (2)- 电抗器及 P_x 值测量
- (3)- 高压变比及角差测量
- (4)- 工频高电压测试
- (5)- 高压变比及角差校准
- (6)- 确认返回

4-3-2 测量界面:



(1)- 测量数据显示区，用量显示各测量模式下的测量数据；并当标准臂的电流 (I_{cn}) $\leq 0.1\text{mA}$ 时，本显示区还会提供‘试验电压低!’的提示，此时电桥会处在一个等待状态，以等待 $I_{cn} > 0.1\text{mA}$ ，开始进入自动测量状态。

- (2)- 内置不平衡电流放大器放大倍数的档位，既指另仪的灵敏度挡位。
- (3)- 测量试验电压及频率数据显示区，同时显示一些相关的内部设置参数。
- (4)- 功能键提示区

(a) 电容量及介损测量界面



(1)- $\text{tg } \delta x$ 测量数据

(2)- 标准臂的电流 (I_{cn}) $\leq 0.1\text{mA}$ 时, 显示 ‘试验电压低!’ 的提示, 当电流 $> 0.1\text{mA}$, 提示会自动消失。

(3)- 电容量 C_x 测量数据

(4)- 内置 ‘指另仪’ 的灵敏度档位, 共 7 档, 分别为: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。需要读取正确数据时, 这里的显示必须要 ‘ ≥ 6 ’, 同时 “3-1-1 平衡状态指示器” 的指示要达到最小, 否则数据将会有很大的误差。

(5)- 试验电压 (测量值)

(6)- 试验频率 (测量值)

(7)- 标准电容器预置值 (参数设置值)

(8)- 外接量程扩展器的比例值 (AMSB-30-3) (参数设置值)

(9)- 测量方式: 3T 或 4T (参数设置值)

(10)- 功能键提示 “确认返回”

(b) 电抗器测量界面



(1)- 标准臂的电流 (I_{cn}) $\leq 0.1\text{mA}$ 时, 显示 ‘试验电压低!’ 的提示, 当电流 $> 0.1\text{mA}$, 提示会自动消失, 并显示所测电抗器的额定电流。所有的功率计算, 都是根据所设定的额定电流来进行计算的。

(2)- 无功功率 (Q_x) 测量数据显示, 单位: kvar。

(3)- 视在功率 (S_x) 测量数据显示, 单位: KVA。

(4)- 总功率 (P_x) 测量数据显示, 单位: KW。

(5)- 被测试电抗器的电感量, 单位: mH, H

(6)- 内置 ‘指另仪’ 的灵敏度档位, 共 7 档, 分别为: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。需要读取正确数据时, 这里的显示必须要 ‘ ≥ 6 ’, 同时 “3-1-1 平衡状态指示器” 的指示要达到最小, 否则数据将会有很大的误差。

(7)- 试验电压 (测量值)

(8)- 试验频率 (测量值)

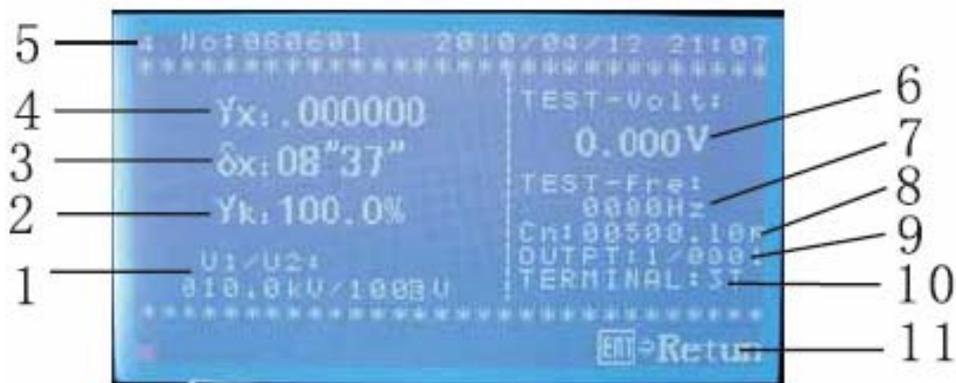
(9)- 标准电容器预置值 (参数设置值)

(10)- 外接量程扩展器的比例值 (AMSB-30-3) (参数设置值)

(11)- 测量方式: 3T 或 4T (参数设置值)

(12)- 功能键提示 “确认返回”

(c) 高压变比角差测量界面



(1)- 内部设置 PT 的额定比值，误差计算将会根据这个设置值来进行计算。
具体设置见内部设置。

(2)- 比例误差 (γk) 测量数据显示。

(3)- 被测 PT 的角差 (δx) 测量数据显示，单位：分和秒。

(4)- 实际比差 (γx) 测量数据显示。

(5)- 内置‘指另仪’的灵敏度档位，共 7 档，分别为：0，1，2，3，4，5，6，7。需要读取正确数据时，这里的显示必须要‘ ≥ 6 ’，同时“3-1-1 平衡状态指示器”的指示要达到最小，否则数据将会有很大的误差。

(6)- 试验电压（测量值）

(7)- 试验频率（测量值）

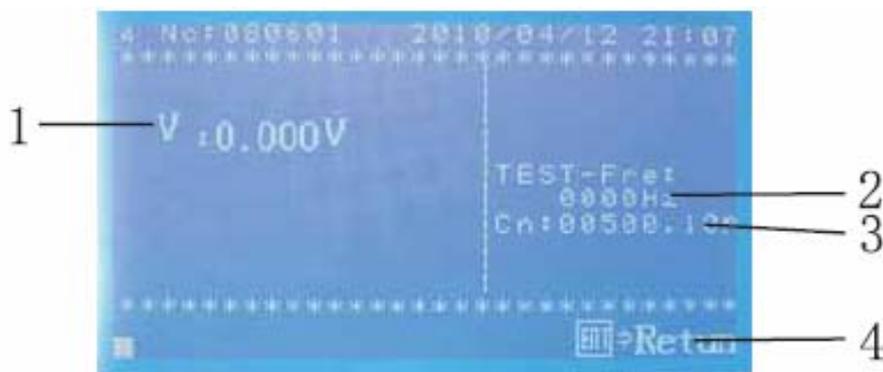
(8)- 标准电容器预置值（参数设置值）

(9)- 外接量程扩展器的比例值（AMSB-30-3）（参数设置值）

(10)- 测量方式：3T 或 4T（参数设置值）

(11)- 功能键提示“确认返回”

(d) 工频高电压测量界面 (仅 AMSB-30a)



- (1)- 试验电压
- (2)- 试验频率
- (3)- 标准电容器预置值 (参数设置值)
- (4)- 功能键提示“确认返回”

第五章 工作原理

5-1 电流比较仪

电流比较仪是本电桥的“心脏”，它是一只多绕组的环形变压器（见图 6）。取自于同一电源来的电流 i_1 、 i_2 分别通过 N_x 和 N_s 绕组，在铁芯内相应的将产生磁通，当二个绕组的安匝数相等且方向相反时，在铁芯内的总磁通为零，此时在检测绕组 N_D 无感应电势，一个高灵敏度的检测器检测这一感应电势，感应电势为零，检测器表头指零。

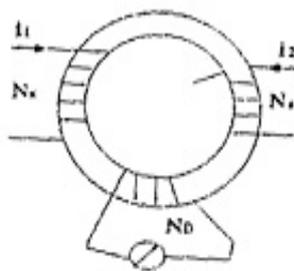


图 6

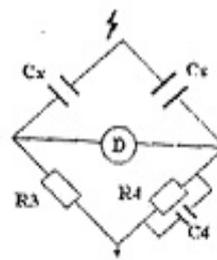


图 7

5-2 电容电桥

电压高于 100V 时，通常测量电容及 $\text{tg } \delta$ 是使用经典的高压西林电桥（见图 7）。它容量的测量准确度基本上与低压部分两个电阻（ R_3 和 R_4 ）之比的准确度有关，而“ $\text{tg } \delta$ ”测量的准确度与二个电阻的时间常数有关，若在西林电桥上要使小容量的标准电容与一只大容量的电容器相比较就必须要有大的电阻比，这二个电阻之间要继续保持时间常数相等是相当困难的。

电流比较器电容电桥用匝数比来代替电阻比，它有一个相当稳定的 10^{-5} 数量

级的准确度，比率高达 1000:1 时仍能保持这一准确度。

5-3 基本操作

(a) 电容测量

测量电容的原理如图 8，同一电压 U 送到二只被比较的电容器上，改变 N_s 绕组的匝数直到 N_s 的安匝数与 N_x 的安匝数相等而且方向相反，在检测绕组上显示出零磁通，指零仪指示为零。由于铁芯内没有磁通， N_x 和 N_s 绕组的阻抗为零，因此绕组电阻与电容器的电抗相比是可以忽略的。

I_x 和 I_s 电流可按下式计算：

$$I_x = j E \omega C_x \quad (1)$$

$$I_s = j E \omega C_s \quad (2)$$

由于安匝平衡则： $I_x N_x = I_s N_s$ (3)

将 (1) (2) 代入 (3) 式：

$$j \omega u C_x \times N_x = j \omega u C_s \times N_s$$

$$C_x = C_s \times (N_s / N_x) \quad \text{..... (4)}$$

为了使电桥有较宽的测量范围，使 N_x / N_s 与电容比 C_x / C_s 在测量范围内相等。将 N_x 绕组按 1、2、5 系数抽头，采用这种方法使比率从 1:1 扩展到 1000:1，电桥具有六位读数，直接调节 N_s 绕组的匝数，实际上仅保持在前三位 (D_1 、 D_2 、 D_3)，也就是选择 $\times 100$ 、 $\times 10$ 、 $\times 1$ 的绕组。如要得到六位读数就需要用分数匝，那是不可能的。后三位读数在本电桥中是采用一只比例运算放大器，使它产生一个与试验电压 U 成比例且同相位的低电压 U_f ，这个低电压 U_f 馈送给低压电容器 Ca_1 和 Ca_2 (统称 Ca)，产生一个

电流 I_{a1} 和 I_{a2} (统称 I_a)。在 N_s' 绕组中同样产生安匝数，调节 D_4 、 D_5 、 D_6 、使它们的安匝数与 N_x 安匝数的余数相等。原理如图 9 所示。

$$u_f = (C_s / C_f) u \quad \text{..... (5)}$$

通过 N_s' 绕组电流为：

$$I_a = j u_f \omega C_a \quad \text{..... (6)}$$

将 (5) 代入 (6) 式：

$$I_a = j u \omega C_s (C_a / C_f) \quad \text{..... (7)}$$

这就意味着，安匝数被 (C_a / C_f) 的比率所缩小。

整个电容的平稳等式为：

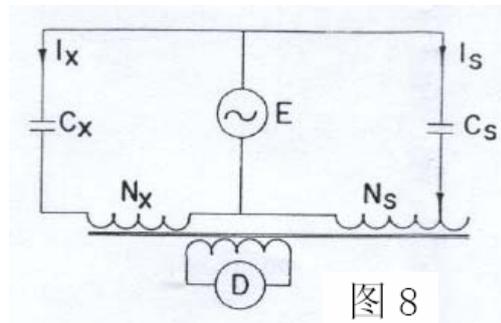


图 8

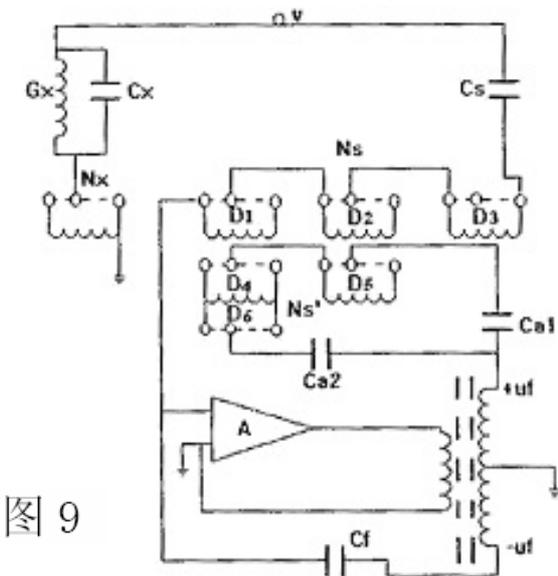


图 9

$$C_x = (C_s / N_x) (N_s + (C_a / C_f) N_s') \dots (8)$$

使 C_a/C_f 设计为一适当的十进制，等式 (8) 中的 N_s' 项成为 N_s 较低项，这样使电桥具有六读数。

(b) 介质损耗正切值 $\tan \delta$ 的测量

被测电容损耗的等值电导 G_x 的测量，是通过前述运算放大器对电导 G 注入一个同相电流 (见图 10)，在 N_a 绕组中产生的安匝数与 N_x 绕组的安匝数平衡，而且 G_a 选择适当的阻值，使 $\tan \delta$ 在各个测量频率下直接读数。

注入 G_a 的电流为

$$I_{ga} = \alpha u f G_a \dots (9)$$

式中 α 是运算放大器输出变压器的十进抽头是 U_f 电压的系数，将 (5) 式代入 (9) 式得到：

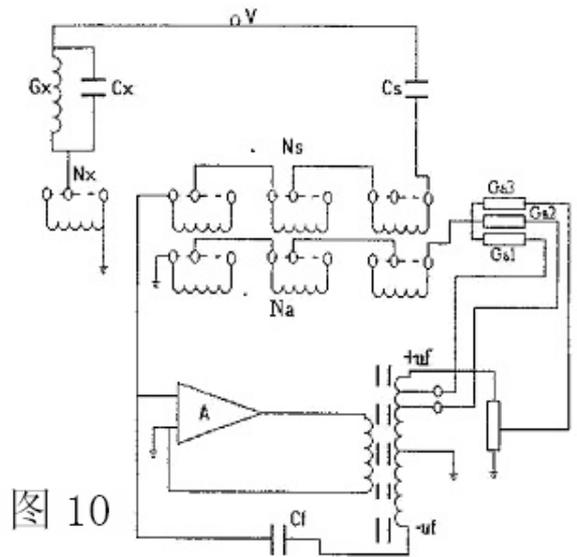


图 10

$$I_{ga} = u (C_s / C_f) \alpha G_a \dots (10)$$

$$\text{被测的有功电流: } I_{gx} = u G_x \dots (11)$$

当平衡时，检测绕组的磁通为零，安匝平衡则：

$$I_{gx} N_x = I_{ga} N_a \dots (12)$$

将 (9) 和 (1) 公式代入：

$$u G_x N_x = u (C_s / C_f) \alpha G_a N_a$$

$$G_x = \alpha G_a (C_s / C_f) (N_a / N_x) \dots (13)$$

在实际测量中希望得到 $\tan \delta$ 值，而 $\tan \delta = G_x / (\omega C_x)$

由 (4) 和 (2) 公式得：

$$\tan \delta = (\alpha G_a N_a) / (\omega C_f N_s) \dots (14)$$

结构上使 N_s 和 N_a 绕组的转换开关连动，并使 N_a/N_s 比率值保持为一常数，本电桥此常数为 0.1，选择适当的 C_f 值和在各测试频率相对应时的 G_a 值，这样 $\tan \delta$ 就只与 α 有关，通过调节加在电导 G 上的 U_f 电压系数 α 来平衡被测 $\tan \delta$ ，如此可在 α 上直接读得被测 $\tan \delta$ 值。

本电桥加在电导 G_{a1} 及 G_{a2} 上的电压系数 α_1, α_2 为变压器上十进抽头，而加在 G_{a3} 上的电压系数 α_3 为一个多圈电位器，在读数计数结构上此电位器有三位读数，在调节小 $\tan \delta$ 平衡时显得更为方便。

本电桥运算放大器输出电压除 $+u_f$ 之外还有一 $-u_f$ ，是完全对称的，通过一只转换开关使 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 全部接在 $-u_f$ 端，这样能读得 $-\tan \delta$ 值，当被测的 $\tan \delta$ 值小于标准电容器的 $\tan \delta$ 值时，能很方便地读到被测 $\tan \delta$ 值，这对于比较二个标准电容器时是有必要的。

5-4 KMSB-30-3 量程扩大器

电桥电容比值最大为 1000:1，当测量大电容 (如电力电容器) 时这一比率值显得不够，则可外接精密电流互感器 (C、T)，其原理示意图 11，它的电容平衡等式为：

$$C_x = C_s (N_s/N_x) (N_2/N_1) \dots (15)$$

(N_2/N_1) 为外接电流互感器的变比值, $\text{tg } \delta$ 值及电容比值仍然是直读而电流互感器的比差及相差是测量电容及 $\text{tg } \delta$ 的附加误差, 应尽量选用高精度的电流互感器以提高测量准确度。当选用 1000:1 ($N_2:N_1$) 的电流互感器, 电容比值最大可达 10^6 :

1, 因此当标准电容器的电容量为 1000 pF 时, 最大被测电容量可达 1000 uF, 而它的最大电流可达 1000 A。

在选用电流互感器的抽头时, 应考虑到被测电容量, 例如被测电容为 100 uF 时, 而标准电容为 100 pF 时, 应选用 1000:10

的电流互感器 (其变比为 1000:1) 被测端电流互感器绕组, 由于通过较大的电流, 一端应接大地, 切勿通过电桥接线柱再接大地, 否则将引起误差。

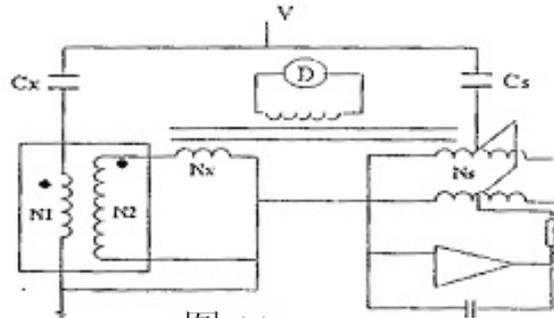


图 11

5-5 引线阻抗的补偿

当测量大电容时, 电容的阻抗值很小, 引线电阻、接触电阻等不能再被忽略, 例对于 300 uF 电容器它的阻抗在 50 Hz 时约为 10.6Ω , 尚若引线电阻为 $3 \text{ m} \Omega$, 将会产生约为 3×10^{-4} 的 $\text{tg } \delta$ 附加误差, 这对于高精度测量电力电容器, 尤其是测量薄膜电容器 (它的 $\text{tg } \delta$ 地 10^{-4} 数量级) 是不允许的, 必需采用电流端电位端的四端法测量消除电阻的影响。

本电桥引线补偿的原理示意图 12

其中 Z_1 、 Z_2 —— 被测 C_x 电流端引线阻抗

Z_3 、 Z_4 —— 被测 C_x 电位端引线阻抗

由图中可见阻抗 Z_1 被认为是电源阻抗的一部分, 因此可忽略它。又由于通过 C_s 的电流相当小, 所以 Z_3 的影响也可忽略。

如果放大器 A 具有高的输入阻抗和低的输出阻抗特性, 则当电桥平衡时:

$$I_x N_x = (I_s + I_s') N_s$$

$$(E - e_1) j \omega C_x N_x = (E - e_2) C_s N_s + (e_0 - e_2) j \omega C_s' N_s$$

$$N_s C_x = C_s N_s / N_x \{ [E - e_2 (1 + C_s' / C_s) + e_0 C_s' / C_s] / [E - e_1] \} \dots (17)$$

与 (4) 式相比较, 需使 (17) 式中后面一项等于 1。即:

$$e_0 = -e_1 (C_s / C_s') + e_2 (1 + C_s / C_s')$$

因此只要满足 (18) 式条件, 即能消除引线引起的误差, 它实际上是一

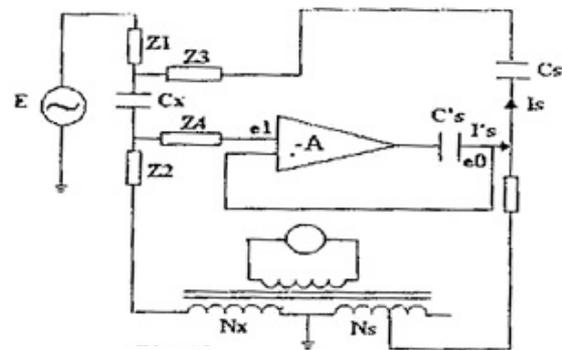


图 12

只双相输入的运算放大器，使（18）式成立必需使 C_s' 可调，一个可调的电容比较麻烦，实际电路中采用电阻作为可调元件，一般在测量大电容是标准电容 C_s 总选择 1000PF 或 100PF，因此 $C's$ 也有二档 100PF 及 1000PF，这样使电阻可调范围比较小一些。

5-6 自校

电桥是一种比例测量装置。当其本身精度在整个测量范围内优于 20ppm 时，那么其中可能达到的最终的测量精度就要取决于作为基准的电容起的精确度和他的稳定性。为了得到所测试品的真正值，必须在测量的到 C_x 的值上加上标准电容器的误差。

Example :

$$C_s = 100.004\text{pF}$$
$$\text{盘读数} = 0.100056$$
$$\text{倍率} = 10:1$$
$$C_x = 100.056 - 0.004$$
$$C_x = 100.052\text{pF}$$

注 1: 如果读数是 1.000056, 其倍率为 1:1, 那么可以达到一位数的分辨率 (读数盘上显示满刻度十进制的符号 \times 代表十个单位, 读数为 1.0056)

注 2: 上述例子仅指标准电容器的误差小于 1000PPM 的情况, 如果其误差大于 1000PPM, 就要由 C_s 来等分刻度读数。

第六章 设备成套性

1. AMSB-30 型高压电桥装置	1 台
2. 电源线	1 根
3. 测量用导线	2 根
4. 专用接线盒	2 只
5. 电桥使用说明书	2 份

备注: 可供配套附件 (按用户需要订货供应)

1. 终端数据处理软件包 (PC 机专用)
2. KMSB-30-3 型量程扩展器 (最大比率 1000:1)
3. 各类标准电容。包括不同电压等级及不同的电容量。

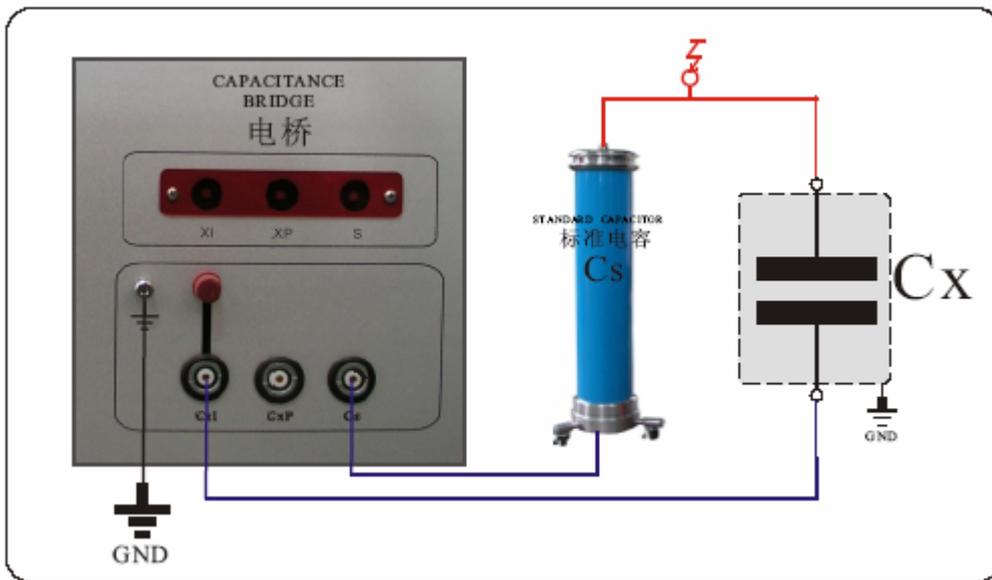
第七章 保管及免费修理期限

本电桥为高精度实验室高压电桥, 应注意保管, 其环境温度为 $0\sim+40^{\circ}\text{C}$, 相对湿度不超过 85%, 且在空气中不应含有足以引起会腐蚀的有害物质。

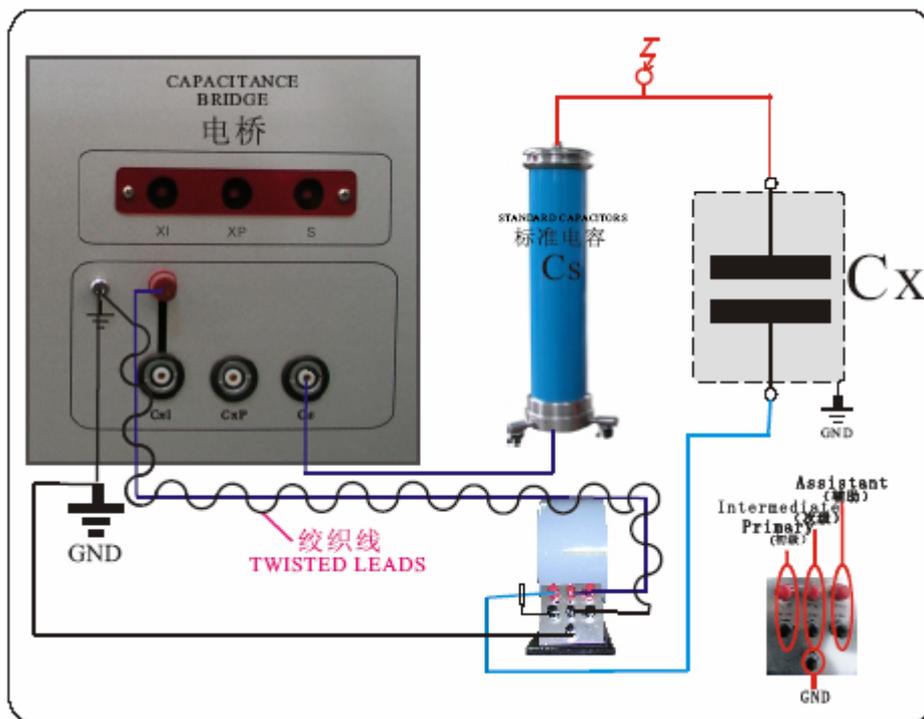
产品自制造厂发货日期起 18 个月内, 当用户在完全遵守使用说明书中所规定的使用及保管规则下, 发现产品质量问题和不能正常工作时, 制造厂应负责免费给予修理或更换。

附录：常规产品的接线图：

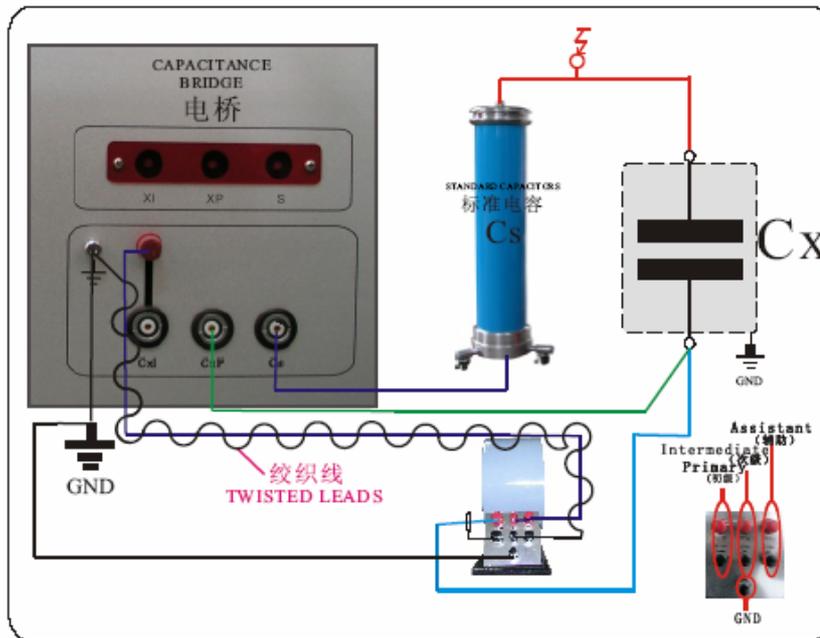
1. 普通高压电容器测量



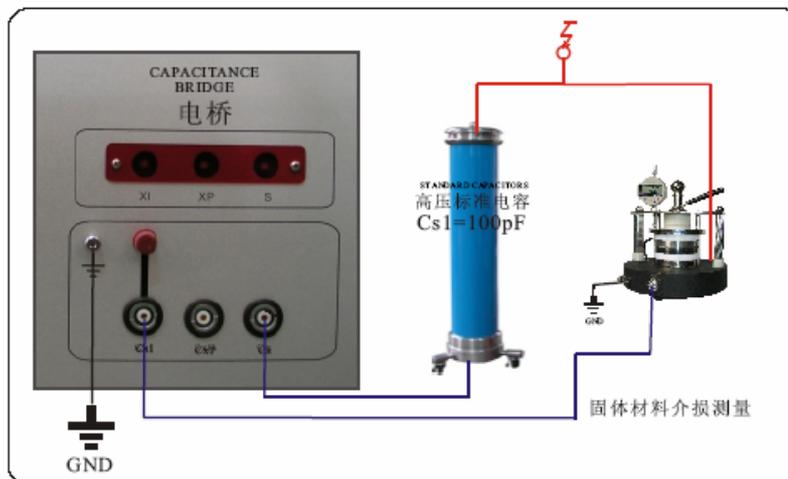
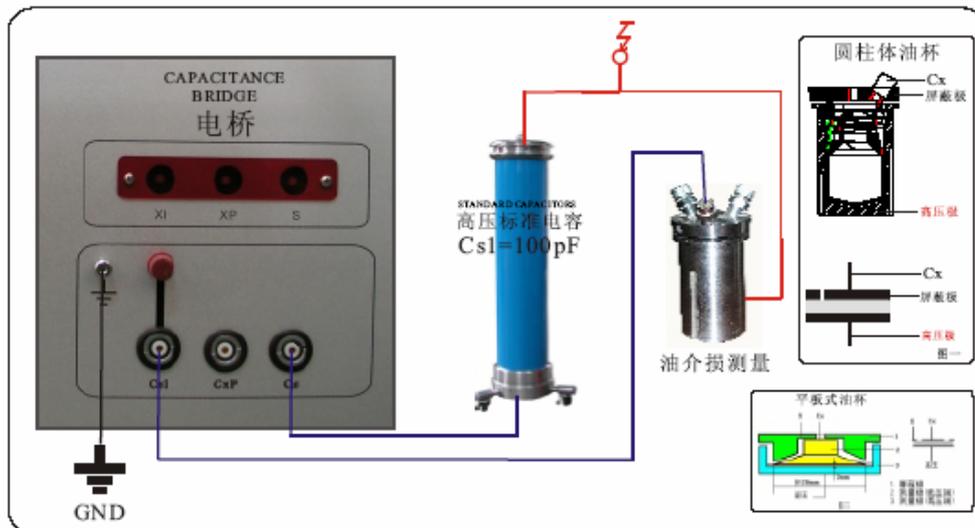
2. 大电容测量（三端），用内部设置引线电阻来消除误差：



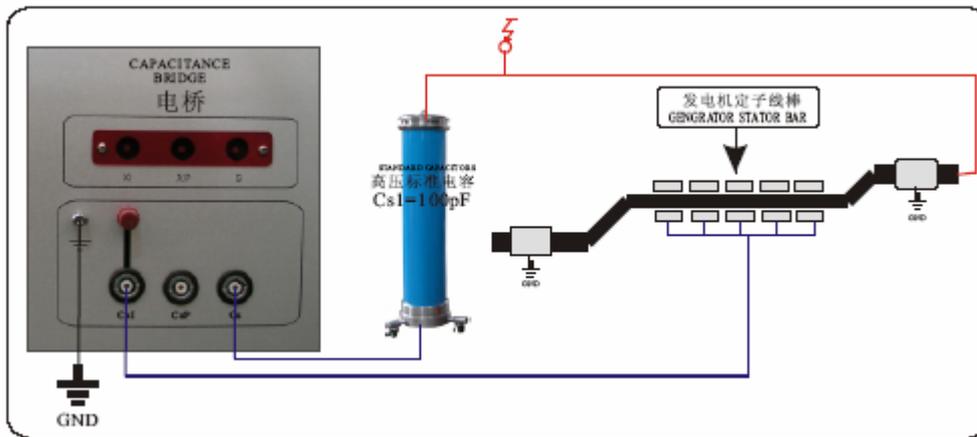
3. 大电容测量（四端）:



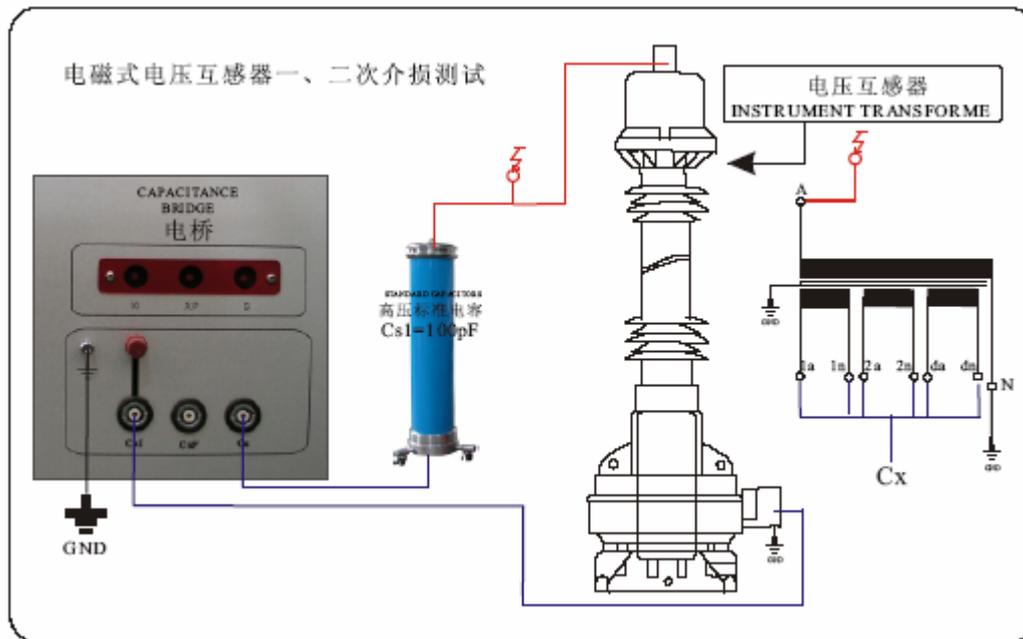
4. 绝缘材料的测量（液体、固体）:



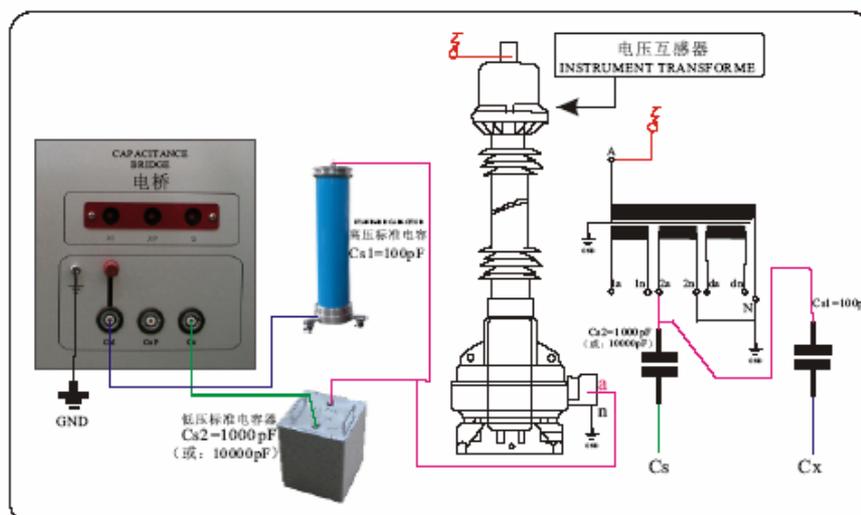
5. 发电机定子线棒:



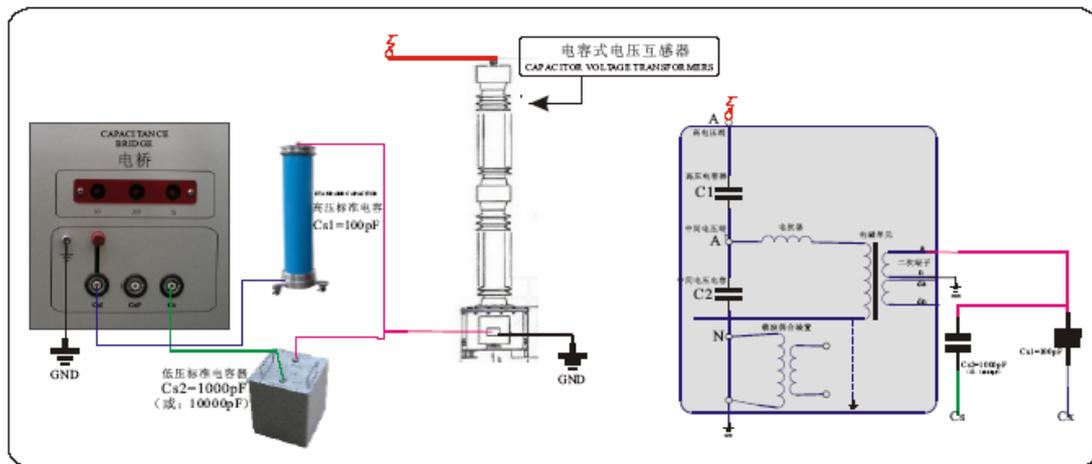
6. 电压互感器介损测量:



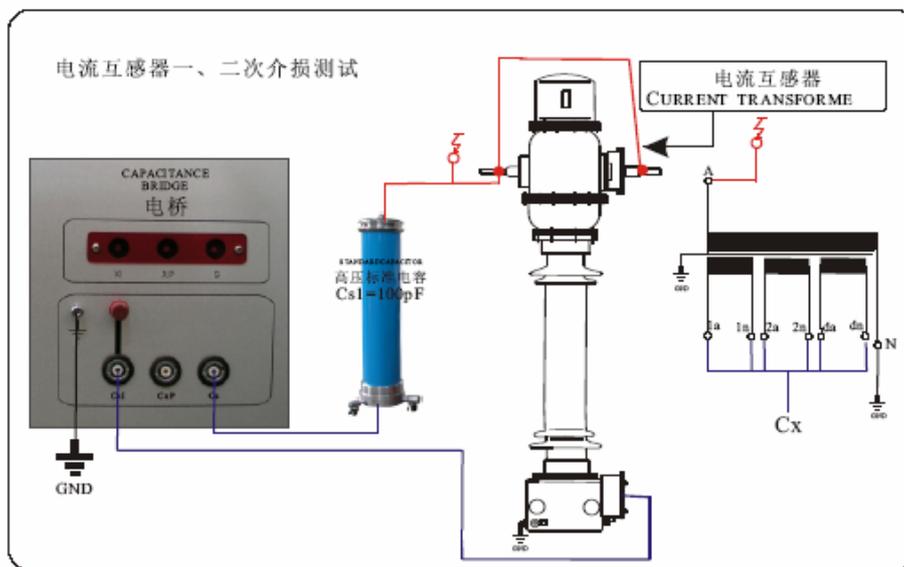
7. 电压互感器变比测量:



8. 电容式电压互感器变比测量:



9. 电流互感器:



10. 绝缘套管测量:

